

自然与社会因素对疟疾媒介按蚊生态习性的影响

刘小波, 刘起勇

中国疾病预防控制中心传染病预防控制所, 传染病预防控制国家重点实验室, 传染病监测预警中国疾病预防控制中心重点实验室, 北京 102206

摘要: 疟疾广泛流行, 严重危害人类健康, 不仅造成沉重的疾病负担, 而且产生严重的政治、经济和社会影响。研究认为, 自然和社会因素可对媒介按蚊的生态习性产生一定程度的影响。现就气候变化、自然灾害等自然因素, 杀虫剂滥用、水体污染、快速城市化、开垦荒地、滥伐森林、水库建设与耕作制度改变等社会因素对媒介按蚊生态习性的影响研究和发现进行综述, 以便为全球消除疟疾目标顺利实现采取更具针对性的媒介按蚊防控策略和措施。

关键词: 疟疾; 按蚊; 生态学; 习性; 影响因素

中图分类号: R384.1; R531.3 文献标志码: A 文章编号: 1003-4692(2012)01-0001-06

The impact of natural and social factors on malaria vector ecology

LIU Xiao-bo, LIU Qi-yong

State Key Laboratory for Infectious Diseases Prevention and Control, China CDC Key Laboratory of Surveillance and Early Warning on Infectious Disease, Department of Vector Biology and Control, National Institute for Communicable Disease Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China

Corresponding author: LIU Qi-yong, Email: liuqiyoung@icdc.cn

Supported by the National Basic Research Program of China (973 Program) (No. 2012CB955500, 955504) and the Major National Science and Technology Projects of China (No. 2008ZX10004-010)

Abstract: Malaria is a globally prevalent vector-borne disease, causes great physical and mental suffering, with serious social and economic impacts on the world. Studies suggested that both natural and social factors have an impact on the ecology of *Anopheles* mosquitoes. This paper reviewed the possible impact of natural factors, such as global climate change, natural disasters, and social factors including insecticide abuse, water pollution, rapid urbanization, land reclamation, deforestation, reservoir construction, and farming practices on the ecology of *Anopheles* mosquitoes in order to target vector control measures and adopt robust malaria elimination strategies.

Key words: Malaria; *Anopheles* mosquito; Ecology; Habits; Influencing factor

当今世界, 疟疾依然是严重威胁人类健康的全球性虫媒传染病, 是全球广泛关注的重要公共卫生问题, 造成了沉重的疾病与经济负担^[1-4]。该病由按蚊属的雌蚊传播, 全球约有 70 余种按蚊能传播人类疟疾, 其中约 30 种为主要传播媒介。近年来, 受全球气候变化、自然灾害频发、杀虫剂滥用、水体污染、快速城市化、开垦荒地、滥伐森林、水库建设与耕作制度改变等自然与社会因素影响^[5], 媒介按蚊的生态习性可能会发生改变, 对全球消除疟疾目标构成严重威胁。现就当前国内外自然与社会因素对媒介按蚊生态习性影响研究及发现予以综述。

基金项目: 国家重大科学研究计划资助 (2012CB955500, 955504); 国家科技重大专项课题 (2008ZX10004-010)

作者简介: 刘小波 (1983-), 男, 博士研究生, 从事流行病学及媒介生物监测、预警与控制研究。Email: liuxiaobo19831016@yahoo.com.cn

通讯作者: 刘起勇, Email: liuqiyoung@icdc.cn

1 自然因素

1.1 气候变化 近百年来, 气候变化已成为科学界的共识, 是当前国际社会普遍关注和研究的重大全球性环境问题^[6]。政府间气象变化委员会 (IPCC) 预测, 到 2100 年全球平均气温将会上升 1.5~4.5 °C^[7]。我国科学家预测, 2020—2030 年全国平均气温将上升 1.7 °C, 到 2050 年将上升 2.2 °C^[8]。研究认为, 不同的气象因子及其组合会对媒介按蚊生态习性产生一定程度的影响, 值得关注。

1.1.1 气温 气温可通过影响媒介按蚊种群密度、地理分布、生长发育、进食行为、活动季节、对病原体易感性及体内病原体潜伏期等方面, 影响疟疾传播风险。

气温影响按蚊的种群密度: 随着全球气候变暖, 许多地区将出现“暖冬”现象, 大量按蚊越冬使得来年提早出现密度高峰。气温影响按蚊的地理分布: 随着温

带地区变暖,感染和携带致病原虫的按蚊分布将向高纬度、高海拔地区扩散,按蚊繁殖速度增加,疟原虫外潜伏期缩短,直接影响疟疾传播的媒介按蚊地理分布、媒介效能和传染性寿命;我国疟疾流行区主要分布于北纬 45°以南的大部分地区,全球气候变暖所带来的气候变化对我国按蚊分布范围北移带来可能性。气温影响按蚊幼虫的存活:近年来,疟疾在东非高地疫情异常严重,正常年份里,受平均最低气温影响,该地区野外冈比亚按蚊(*Anopheles gambiae*)每 500 条幼虫仅 2 条能发育至蛹;然而,在气候变暖情况下,“厄尔尼诺”现象愈加频繁,该地区降雨明显增多,更多幼虫能发育为成虫^[9],增加了疟疾暴发流行的风险。气温影响按蚊的生长发育:气温升高可明显缩短冈比亚按蚊的发育历期,使该蚊一年中世代数更多,适宜生存时间更长,从而增加传播疟疾的概率^[10];研究发现,夏季高温加快了广东省沿海按蚊成蚊前期发育速度^[11],而冬季低温则产生了一定的阻滞作用^[12];气温还把按蚊水生生命周期从 20 d 缩短至 7 d^[13]。气温影响按蚊吸血行为:随着气温升高,按蚊吸血间隔缩短、频率增加,是疟疾在地方性流行区之外发生暴发最主要的原因;在辽宁省,气候变暖使以前偏嗜牛血、传疟能力较低的雷氏按蚊(*An. lesteri*)由次要媒介上升为当地主要媒介并引起疟疾在当地传播^[14]。

1.1.2 降雨量 全球气候变化带来新的降雨格局,降雨区域分异表现出更大的不确定性,局部地区雨量增多。降雨可通过影响媒介按蚊孳生地大小与数量、栖息生境与宿主分布等方面,进而影响疟疾传播风险。充沛的降雨量创造了湿润的环境,有利于按蚊孳生与吸血,使疟疾在降雨量增加的情况下更易于传播。1987 年,疟疾在卢旺达大流行主要是由于连续降雨和最低气温升高所致。然而,大量降雨能够冲毁按蚊孳生环境,减少按蚊数量,进而降低疟疾发生和传播概率。降雨所引发的洪灾还可以摧毁按蚊的栖息场所。Paaijmans 等^[15]认为,通过对按蚊幼虫孳生地冲刷与幼虫的杀灭,降雨显著地抑制了冈比亚按蚊幼虫种群。在幼虫生命周期内,降雨对其孳生地生产能力产生了深远影响,最终影响疟疾传播风险。Koenraadt 等^[16]发现,降雨量与冈比亚按蚊幼虫栖息地数量显著相关,表现出 1 周的滞后效应。在 1 周的滞后期,降雨量与研究房屋内诱蚊灯捕获冈比亚按蚊雌蚊数量显著相关。Rozendaal^[17]研究发现,*An. darlingi* 密度高峰与短暂雨季大量降雨时期表现出很好相关性。

1.1.3 相对湿度 相对湿度虽不能直接影响按蚊幼虫生长发育,但可通过影响成蚊存活时间,间接地对幼虫产生影响。相对较高的相对湿度可延长按蚊寿命。温

暖潮湿的气候,既有利于按蚊生长、繁殖,也适合按蚊的吸血活动,增加传播疟疾的机会。相对湿度低则会缩短按蚊寿命。如果月平均相对湿度 < 60%,就没有疟疾传播。作为我国恶性疟传播媒介,雷氏按蚊生长与相对湿度关系密切。广东省处于亚热带雨林气候带,常年雨量充沛,湿度较大、温度适宜,非常适合雷氏按蚊生长^[18]。不同的温湿度组合,对按蚊幼虫存活率、蛹的羽化率及成蚊产卵量均有不同程度地影响。在一定的温湿度范围内,相应地温湿度组合可产生相似的生物效应^[19]。尼日利亚 Pant 等^[20]研究发现,未喷洒杀虫剂自然村中因相对湿度变化对冈比亚按蚊与致死按蚊(*An. funestus*)栖息习性的影响很可能是这两种按蚊在室内外频繁流动的原因。Takken 等^[21]研究发现,通过与皮肤气味相互作用,相对湿度在冈比亚按蚊的宿主寻找活动中发挥了一定作用。

1.1.4 其他 热浪、干旱^[22]、暴雨、台风等极端天气^[23]和人为引起的气候改变^[24],也可直接影响按蚊生态学行为,值得关注。

1.2 自然灾害 自然灾害特别是重大自然灾害,因其打击突然、受害面积广,常给灾区带来许多公共卫生问题。在过去 20 年,自然灾害导致数百万人死亡,超过 10 亿人受到影响^[25]。我国常见自然灾害包括气象灾害(洪涝、台风、雪灾)、地震灾害与环境灾害(干旱、低温冷害、高温热害)等。近年来,世界范围内自然灾害发生频率与强度不断增加。自然灾害对媒介按蚊生态学习性可能会产生一定程度影响,不容忽视。

1.2.1 洪灾 近年来,世界范围内洪灾呈逐步增长趋势。2011 年 7 月下旬至今,受台风和强降雨影响,泰国连降暴雨引发洪水,造成数百万人受灾、600 多人死亡、三分之一省份被淹,造成 30 亿~160 亿美元的经济损失。洪灾也是我国发生频率高、危害范围广、对国民经济影响最为严重的自然灾害。我国洪灾损失占国民生产总值(GNP)比例在 1%~4%之间,是美国、日本等发达国家的 10~20 倍。洪灾发生不同阶段,引起了发生区生态环境改变,减小或扩大了按蚊孳生地,常影响疟疾流行。洪水起初发生时,可破坏现有按蚊孳生地,引起按蚊密度降低。Mustafa 和 Omera^[26]研究发现,洪灾发生季节(7—10 月),阿拉伯按蚊(*An. arabiensis*)密度最低,而水位下降后(11 月至 6 月),阿拉伯按蚊密度增加。然而,暴雨或江、河泛滥后,可形成新的孳生地,增加按蚊密度及疟疾传播的可能性^[27]。安徽省疟疾发病抽样调查显示,洪灾后内涝地区疟史率 2.95%,远远高于行洪区(0.71%),分析认为是由于行洪区洪水排泻冲击了按蚊孳生地,相对减少了按蚊孳生地面积,疟疾疫情较内涝区为低;而内涝区积水排不出去,造成灾

后按蚊孳生地扩大,密度增加,在大量传染源存在时,疫情大幅上升并造成小范围暴发^[28]。

1.2.2 地震 地震是经常发生的自然现象,而强烈地震则是一种严重的自然灾害。1900—1990年,全球共有 260 万人死于地震,直接经济损失达数千亿美元。本世纪以来,我国因地震死亡人数居世界之首。其中,具有代表性的为 2008 年 5 月 12 日发生于四川省汶川、北川的 8.0 级地震与 2010 年 4 月 14 日发生于青海省玉树的 7.1 级地震。地震及其伴生堰塞湖导致人与动物生存环境遭到严重破坏,强降雨后形成的水体适合于媒介按蚊孳生,常造成按蚊密度、孳生及栖息环境变化。灾民的转移安置使人暴露于携带疟原虫媒介按蚊机会增加,疟疾发生概率随之增加。1991 年哥斯达黎加的大西洋地区地震导致媒介按蚊栖息地改变,按蚊极易繁殖,随后出现疟疾病例大幅度增加^[27]。地震造成四川省安县及周边地区昼夜温差增大,降雨量增加及堰塞湖形成,均有利于按蚊孳生与繁殖,引起中华按蚊(*An. sinensis*)数量和构成比升高^[29]。

1.2.3 其他 海啸、台风、旱灾等也可对媒介按蚊生态习性产生影响。Krishnamoorthy 等^[30]研究发现,由海啸波浪形成的咸水池与漩涡将有助于偏好咸水的 *An. sudaicus* 孳生。以淡水存在为主的稻田与休耕地由于海啸形成咸水作用而成为该蚊孳生地。海啸形成大量孳生地与较长持续时间将进一步增加疟疾传播风险。*An. sudaicus* 与房屋紧密相连加之受影响地区牲畜饲养减少很可能导致人蚊接触频率增加,疟疾暴发风险增大。

2 社会因素

2.1 杀虫剂滥用 杀虫剂滥用使媒介按蚊抗药性日益增强,可能会导致当地媒介按蚊生态习性改变^[31]。按蚊栖息习性除受自身生物及生态学特征影响外,还受诸如杀虫剂使用等因素影响。多年来应用杀虫剂室内滞留喷洒后,微小按蚊(*An. minimus*)外栖性和外食性增强^[32]。我国海南岛某些地区微小按蚊就出现了这一现象^[33]。坦桑尼亚研究发现,当杀虫剂处理蚊帐使用增加后,按蚊户外吸血现象增加^[34]。50 年来,湖南省郴州市中华按蚊栖息习性受到室内广泛喷洒杀虫剂影响,人房按蚊密度较 50 年代明显为低,而牛房密度明显升高^[35]。亦有按蚊生态习性未受杀虫剂使用影响的例子。Quinones 等^[36]研究发现,使用拟除虫菊酯浸泡蚊帐后,冈比亚按蚊生殖营养周环、叮刺与栖息行为并未受到影响。

2.2 水体污染 20 世纪 70 年代后,随着全球工业生产发展和社会经济繁荣,大量工业废水和生活废水排

入水体,水体污染日益严重。对中国 532 条河流污染状况调查发现,已有 436 条河流受到不同程度的污染,占调查总数的 82%。截止到 1994 年,全国各大江均受到不同程度的污染,并呈上升趋势,工业发达城市(镇)附近水域污染尤为严重。水体污染可造成媒介按蚊生态习性改变。Chinery^[37]在加纳阿克拉研究发现,冈比亚按蚊在城市化造成的大量污染水体中孳生增加。在尼日利亚,冈比亚按蚊已适应城区各种污染水体,而孳生于各种污染水体的按蚊可能是该地区疟疾疫情上升的主要原因^[38]。研究发现,水体污染与 *An. albimanus* 存在也有一定的关系^[39]。舟山市 1994—1999 年通过基本消灭疟疾后按蚊监测发现,中华按蚊为舟山市唯一传疟媒介,在种群中所占比例较 1975 年程徐遂等调查结果(57.36%)大幅度下降且为非优势种。从生态学角度分析,当地按蚊种群锐减可能与水体污染及生态环境破坏有直接关系^[40]。

2.3 快速城市化 近年来,全球范围内城市化进程大大加速,发达国家城市化发展水平高,而广大发展中国家城市化水平较低,发展不合理现象凸显。改革开放 30 多年来,我国城市化获得了长足的发展。然而,快速城市化带来了一系列环境问题,包括生物多样性减少^[41]及水质恶化等。Machault 等^[42]研究表明,快速城市化对按蚊种类构成及疟疾传播动力造成很大程度的影响。Easton^[43]研究发现,澳门城市化使得一些按蚊种群数量急剧下降为 0。已有明确证据表明,城市化可以通过减少适于按蚊生存孳生地数量,以降低环境中按蚊种类、密度、生存率与疟原虫感染率,最终降低疟疾发病率与死亡率^[44]。Trape 和 Zoulani^[45]研究认为,城市化逐步抑制了冈比亚按蚊孳生地增长,限制了该蚊从孳生地向外扩散,降低了人群个体暴露水平。坦桑尼亚一项研究表明,按蚊适应了城市化形成的新的孳生地,表现出与农村环境截然不同的生态学行为^[46]。然而,亦有城市化导致按蚊密度增加的例子。Ferreira 和 Alecrim^[47]研究表明,城市化使原有生态系统发生改变,使市内环境成为按蚊孳生的理想场所。

2.4 垦荒、滥伐森林与水库建设

2.4.1 垦荒 垦荒是指对未被利用的荒地进行垦殖,使之转变为农田的过程。垦荒必然会改变原有的生态环境,可能会对按蚊生态习性产生影响。研究表明,垦荒可造成 *An. freeborni* 孳生习性改变^[48]。车立刚等发现,当云南省加布托垦区一个 10 km 的山谷被开垦种植橡胶后,微小按蚊叮人率增加,致使垦区人员疟疾暴发。李兴亮等^[49]在中老边境地区垦民与当地居民疟疾流行情况调查中发现,垦区疟疾发病率远高于当地居民,原因可能与开发区环境改变,按蚊孳生地增加有

关。王学忠等^[50]研究发现,西双版纳最南端勐腊县磨憨镇东方红村由于开发种植茶叶、橡胶等经济作物,造成按蚊孳生地扩大,导致微小按蚊种群数量及入侵人房概率增加,最终导致疟疾波动和暴发流行。

2.4.2 滥伐森林 作为大自然的装饰美化师,森林对二氧化碳下降、动物群落、水文湍流调节和巩固土壤起着重要作用。然而,由于滥砍乱伐等人为因素,全世界森林面积在 1990—2000 年每年平均减少 940 万公顷。这一现象已经给人类赖以生存的自然环境造成严重影响。在所有传播人类疾病的森林动物物种中,蚊虫对源于森林砍伐的环境改变最为敏感。滥伐森林可能会对按蚊生态习性产生影响,对于喜欢孳生于荫蔽水体中的按蚊种类,森林砍伐减少了其孳生生境,进而影响其传播^[51]。与此相反,源于森林砍伐的一些环境与气候变化有利于其他按蚊种生存,延长了疟疾传播季节。在 20 世纪 90 年代中期,朝鲜曾发生过由于森林砍伐而引起按蚊种群栖息地扩大,是造成间日疟在当地再发生与传播的一个重要原因^[52]。在秘鲁亚马逊地区,采伐森林地区疟疾媒介 *An. darlingi* 叮人率较主要森林覆盖区增加 278 倍^[53]。在南美,森林砍伐与相关活动引起 *An. darlingi* 栖息地增加,导致当地疟疾流行^[54-55]。云南省南部新农村建设中,原始森林砍伐等活动使原有生态环境中按蚊孳生环境改变,进而导致其种群波动并引起当地疟疾疫情变化^[56]。

2.4.3 水库建设 水库建设对当地生态环境将产生不同程度的影响。由于三峡工程施工和水库蓄水,坝区生态环境发生了重大变化,对按蚊生存环境产生了重大影响,导致其种群结构和密度在短期内发生较大的变化。美国在 1924 年修建阿拉巴马州水库后当地传疟媒介四斑按蚊 (*An. quadrimaculatus*) 密度增加了 40 倍,疟疾发病率上升近 7 倍。南非最大的佛沃德水库建成后成为媒介按蚊孳生场所,按蚊大量孳生,使周围地区变成疟疾流行区^[57]。1989 年巴西伊泰普大坝蓄水后按蚊大量增加,加之大量患病民工涌入,造成疟疾暴发^[58]。1968 年河南省丹江口水库建成蓄水后,库区周围大量旱地改为水田,为按蚊孳生创造了适宜生态环境,库区各县疟疾发病率均显著高于非库区^[59]。研究发现,三峡大坝建成蓄水后,水体流速减缓,水面增宽,消落带积水等均为按蚊孳生提供了有利条件^[60-61]。

2.5 耕作制度改变 耕作制度又称农作制度,是指以土壤耕作为中心,包括灌溉、施肥、除草、水土保持、轮作倒茬等各项农业技术措施在内的农作体系。水稻耕作制度改变对雷氏按蚊孳生习性产生一定程度影响。在灌溉有保证的平坝、浅丘地区,水稻生长期推行湿润灌溉,收获后稻田不再蓄水,冬水田相应减少。雷氏按

蚊密度较水稻耕作制度改变前的 80 年代下降 80.85%,其 8—9 月季节高峰不再出现;而未推行湿润灌溉的山区和丘陵地区则无变化^[5]。陈怀录等^[62]发现灌溉渠道网络建设完成以后,按蚊孳生地增多。张友德等发现实施灌溉农业后,冬水田改为水旱轮作田,改变了按蚊孳生环境,最终导致按蚊种群数量锐减及孳生时间缩短,从而持续地控制了疟疾流行^[63-64]。灌溉方式改变,大大影响了广东省雷氏按蚊分布,由原来孳生于水稻田为主改变为孳生于有大量水体的甘蔗地、香蕉地和遮荫良好的沟溪为主^[18]。

3 适应性对策

3.1 基于媒介按蚊生态习性最新研究成果及时调整现有控制策略与措施 在不同的国家和地区,按蚊种类不同,媒介效能各异,传播疟疾风险差别很大。当前,未能完成预期水平的疟疾控制效果可能源于一些复杂的因素。媒介按蚊吸血与栖息习性可能会受到自然与社会因素变化的影响而发生改变。既往室内吸血、栖息为主的按蚊在杀虫剂选择压力之下,可能会转为户外吸血与栖息^[65]。按蚊的遗传结构也会受自然与社会因素的影响而发生变异。不幸的是,当前我们对全球主要疟疾流行区按蚊生物学、生态学及种群遗传结构的理解非常有限,对其他地区重要媒介按蚊种群结构、食性、栖息习性、交配与产卵,甚至是地理分布依然知之甚少^[66]。因此,更新当前关于媒介按蚊生物学、生态学方面的知识,对于研发新的媒介干预工具和及时调整当前媒介控制策略与措施至关重要^[67]。

3.2 评估自然与社会因素对媒介按蚊生态习性的影响 全球气候变化,改变了媒介按蚊的地理分布,提高了其自身发育速率,增加了叮人率,缩短了病原体在其体内的潜伏期。水利工程、城市化及环境开发等造成生态环境日趋恶化与脆弱,传疟风险不断波动。这些变化提示,作为全球消除疟疾目标的有力保障,媒介按蚊防控工作凸显重要。然而,目前国内外基于自然与社会因素对媒介按蚊生态习性的评估工作开展较少。如何有效地筛选关键的自然与社会因子,利用数学与统计学模型等方法,对媒介按蚊本身生态习性及其媒介传染病发病风险所造成的不利影响进行科学评估、预测及预警^[68-69],是当前亟待解决的科学问题。

3.3 研发可替代的、可持续的媒介按蚊防控工具或改良现有防控工具 对于当前以媒介为靶标的干预措施,最大的威胁是杀虫剂抗性。当前,媒介按蚊对用于浸泡蚊帐和室内滞留喷洒的拟除虫菊酯类杀虫剂抗性日益严重,特别是多重耐药现象出现,对全球消除疟疾构成严峻挑战^[70]。在那些传播率低至中等的国家和地

区,现有的媒介按蚊防控工具对疟疾消除可能是足够的。然而,在一些疟疾高度流行区,亟待研发可替代的媒介按蚊防控工具。从基因水平上,对不同国家及地区优势按蚊种类进行调控,对于疟疾高流行区按蚊媒介效能降低是至关重要的。因此,研发可替代的、可持续发展的媒介按蚊防控工具或改良现有的防控工具对全球消除疟疾必不可少^[70]。

3.4 融合多学科优势,进行创新的、跨学科的媒介按蚊防控 媒介生物学、生态学可以从生物学、生态学角度对不同国家、地区传疟媒介进行阐述。流行病学可以提供媒介按蚊三间分布及影响因素资料;而基于遥感技术(remote sensing, RS)、地理信息系统(geographical information system, GIS)及全球定位系统(global positioning system, GPS)的“3S”技术可以提供媒介按蚊时空分布资料;而利用数学及统计学方法建立的各种模型为媒介按蚊及相关传染病风险评估和预测、预警工作提供了便利。因此,通过多学科的优势互补,进行创新的、跨学科的媒介按蚊防控,是媒介按蚊防控工作的科学思路^[71]。

4 展望

对疟疾传播媒介按蚊生态习性进行研究,可以揭示媒介按蚊防控关键因素,为全球消除疟疾目标提供有力保障^[72]。当前,全球新一轮的消除疟疾行动正在如火如荼地进行,然而,我们应当清醒地认识到媒介按蚊生态习性可能会受到自然与社会因素影响进而发生一定程度地改变。不同国家与地区应加强合作与交流,不断地进行科学研究,提高对当地主要传疟媒介按蚊生物学、生态学及影响因素的认识,并根据各自特点采取有针对性的干预措施,为全球消除疟疾目标早日实现贡献各国的力量。

参考文献

- [1] Hay SI, Guerra CA, Tatem AJ, et al. The global distribution and population at risk of malaria: past, present, and future[J]. Lancet Infect Dis, 2004, 4(6): 327-336.
- [2] Zhou SS, Huang F, Wang JJ, et al. Geographical, meteorological and vectorial factors related to malaria re-emergence in Huang-Huai River of central China[J]. Malar J, 2010, 9: 337.
- [3] Greenwood BM, Fidock DA, Kyle DE, et al. Malaria: progress, perils, and prospects for eradication[J]. J Clin Invest, 2008, 118(4): 1266-1276.
- [4] Hay SI, Guerra CA, Gething PW, et al. A world malaria map: Plasmodium falciparum endemicity in 2007[J]. PLoS Med, 2009, 6(3): e1000048.
- [5] 杨文, 许国君, 陈怀录, 等. 四川省嗜人按蚊分布区自然环境与社会经济状况调查[J]. 中国热带医学, 2003, 9(1): 86-88.
- [6] Gething PW, Smith DL, Patil AP, et al. Climate change and the global malaria recession[J]. Nature, 2010, 465(7296): 342-345.
- [7] IPCC. Scientific assessment of climate change: Report to IPCC from Working Group[R]. Geneva: World Meteorological Organization & UN Environment Programme, 1990: 365.
- [8] 陈邦柱, 秦大河. 气候变化与生态环境研讨会文集[C]. 北京: 气象出版社, 2004: 13-20.
- [9] Koenraadt CJ, Paaijmans KP, Schneider P, et al. Low larval vector survival explains unstable malaria in the western Kenya highlands[J]. Trop Med Int Health, 2006, 11(8): 1195-1205.
- [10] Bayoh MN, Lindsay SW. Effect of temperature on the development of the aquatic stages of *Anopheles gambiae sensu stricto* (Diptera: Culicidae)[J]. Bull Entomol Res, 2003, 93(5): 375-381.
- [11] 段金花, 吴军, 吴旭光, 等. 夏季高温对广东沿海中华按蚊成蚊前期发育的影响[J]. 中国病原生物学杂志, 2010, 5(8): 609-610.
- [12] 吴旭光, 吴军, 潘波, 等. 冬季低温对广东沿海中华按蚊成蚊前期发育的影响[J]. 热带医学杂志, 2005, 12(6): 777-779.
- [13] 金浩, 姚宝龙. 气候变化对疟疾流行特征影响的研究进展[J]. 国际医学寄生虫病杂志, 2011, 38(2): 110-112.
- [14] 李菊林, 高琪, 周华云, 等. 辽宁省嗜人按蚊的生物学特性观察[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2009, 20(2): 114-115.
- [15] Paaijmans KP, Wandago MO, Githeko AK, et al. Unexpected high losses of *Anopheles gambiae* larvae due to rainfall[J]. PLoS One, 2007, 2(11): e1146.
- [16] Koenraadt CJ, Githeko AK, Takken W. The effects of rainfall and evapotranspiration on the temporal dynamics of *Anopheles gambiae* s.s and *Anopheles arabiensis* in a Kenyan village[J]. Acta Trop, 2004, 90(2): 141-153.
- [17] Rozendaal JA. Relations between *Anopheles darlingi* breeding habitats, rainfall, river level and malaria transmission rates in the rain forest of Suriname[J]. Med Vet Entomol, 1992, 6(1): 16-22.
- [18] 刘勇鹰, 潘波, 朱泰华, 等. 广东省嗜人按蚊分布及其规律研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2000, 11(4): 261-264.
- [19] 徐保海, 黄锦源, 张良应, 等. 水稻生长与温湿度效应对嗜人按蚊种群消长影响的研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 1996, 7(2): 132-133.
- [20] Pant CP, Rishikesh N, Bang YH, et al. Progress in malaria vector control[J]. Bull World Health Organ, 1981, 59(3): 325-333.
- [21] Takken W, Knols BGJ, Otten H. Interactions between physical and olfactory cues in the host seeking behaviour of mosquitoes: the role of relative humidity[J]. Annals Trop Med Parasitol, 1997, 91(S1): 119-120(112).
- [22] Kaiser J. Ecology: Drought portends mosquito misery[J]. Science, 2003, 301(5635): 904.
- [23] van Aalst MK. The impacts of climate change on the risk of natural disasters[J]. Disasters, 2006, 30(1): 5-18.
- [24] Martens WJ, Niessen LW, Rotmans J, et al. Potential impact of global climate change on malaria risk[J]. Environ Health Perspect, 1995, 103(5): 458-464.
- [25] Watson JT, Gayer M, Connolly MA. Epidemics after natural disasters[J]. Emerg Infect Dis, 2007, 13(1): 1-5.
- [26] Mustafa YHD, Omera SM. Ecology of the malaria vector *Anopheles arabiensis* Patton (Diptera: Culicidae) by the Nile in northern Sudan[J]. Bull Entomol Res, 1986, 76(3): 451-467.
- [27] 周祖木, 魏毓毓. 自然灾害对疟疾的影响研究进展[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2010, 21(3): 280-282.
- [28] 张莲芝, 沈毓祖, 范厚. 安徽省洪涝灾害后疟疾流行与防治对策[J]. 中国寄生虫病防治杂志, 2004, 17(4): 11.
- [29] 卢千超, 李新旭, 王万松, 等. 地震灾后蚊媒种类及密度监测报告[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2006, 17(4): 374, 384.
- [30] Krishnamoorthy K, Jambulingam P, Natarajan R, et al. Altered environment and risk of malaria outbreak in South Andaman, Andaman & Nicobar Islands, India affected by tsunami disaster[J]. Malar J, 2005, 4: 32.
- [31] Kaburi JC, Githuto JN, Muthami L, et al. Effects of long-lasting insecticidal nets and zoophylaxis on mosquito feeding behaviour

- and density in Mwea, central Kenya [J]. *J Vector Borne Dis*, 2009, 46(3):184-190.
- [32] 许建卫, 杨煌, 顾云安, 等. 云南元江流域疟疾防治后微小按蚊 (*Anopheles minimus* Theobald) 生物学特性和相关生态学因子研究 [J]. *医学动物防制*, 1999, 15(5):225-228.
- [33] 李朝品. *医学昆虫学* [M]. 2 版. 北京: 人民军医出版社, 2007:113.
- [34] Russell TL, Govella NJ, Azizi S, et al. Increased proportions of outdoor feeding among residual malaria vector populations following increased use of insecticide-treated nets in rural Tanzania [J]. *Malar J*, 2011, 10:80.
- [35] 李军, 孙振球, 李灯华, 等. 湖南郴州市疟疾流行及基本消灭疟疾后的防治效果分析 [J]. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2004, 15(2):131-133.
- [36] Quinones ML, Lines JD, Thomson MC, et al. *Anopheles gambiae* gonotrophic cycle duration, biting and exiting behaviour unaffected by permethrin-impregnated bednets in the Gambia [J]. *Med Vet Entomol*, 1997, 11(1):71-78.
- [37] Chinery WA. Effects of ecological changes on the malaria vectors *Anopheles funestus* and the *Anopheles gambiae* complex of mosquitoes in Accra, Ghana [J]. *J Trop Med Hyg*, 1984, 87(2):75-81.
- [38] Awolola TS, Oduola AO, Obansa JB, et al. *Anopheles gambiae* s.s. breeding in polluted water bodies in urban Lagos, southwestern Nigeria [J]. *J Vector Borne Dis*, 2007, 44(4):241-244.
- [39] Suarez SE, Castex RM, Marquetti MC, et al. Water pollution and presence of *Anopheles albimanus* Wiedemann, 1821 and *Culex nigripalpus* Theobald, 1901 [J]. *Rev Cubana Med Trop*, 1990, 42(1):130-139.
- [40] 张均和, 王建跃, 乐志宏, 等. 舟山海岛基本消灭疟疾后传疟媒介的监测研究 [J]. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2001, 12(2):127-129.
- [41] Chinery WA. Impact of rapid urbanization on mosquitoes and their disease transmission potential in Accra and Tema, Ghana [J]. *Afr J Med Med Sci*, 1995, 24(2):179-188.
- [42] Machault V, Gadiaga L, Vignolles C, et al. Highly focused anopheline breeding sites and malaria transmission in Dakar [J]. *Malar J*, 2009, 8:138.
- [43] Easton ER. Urbanization and its effects on the ecology of mosquitoes in Macau, Southeast Asia [J]. *J Am Mosq Control Assoc*, 1994, 10(4):540-544.
- [44] Hay SI, Guerra CA, Tatem AJ, et al. Urbanization, malaria transmission and disease burden in Africa [J]. *Nat Rev Microbiol*, 2005, 3(1):81-90.
- [45] Trape JF, Zoullani A. Malaria and urbanization in central Africa: the example of Brazzaville. Part III: Relationships between urbanization and the intensity of malaria transmission [J]. *Trans R Soc Trop Med Hyg*, 1987, 81 Suppl 2:S19-25.
- [46] Sattler MA, Mtasiwa D, Kiama M, et al. Habitat characterization and spatial distribution of *Anopheles* sp. mosquito larvae in Dar es Salaam (Tanzania) during an extended dry period [J]. *Malar J*, 2005, 4:4.
- [47] Ferreira GMJ, Alecrim WD. Non-planned urbanization as a contributing factor for malaria incidence in Manaus - Amazonas, Brazil [J]. *Rev Salud Publica (Bogota)*, 2004, 6(2):156-166.
- [48] Tempelis CH, Reeves WC. Feeding habits of one anopheline and three culicine mosquitoes by the precipitin test [J]. *J Med Entomol*, 1964, 1(2):148-151(144).
- [49] 李兴亮, 李春富, 郝边云. 中老边境勐满垦民与当地居民疟疾流行情况 [J]. *实用寄生虫病杂志*, 1993, 1(3):40-41.
- [50] 王学忠, 赵彤言, 杜尊伟, 等. 环境变化与微小按蚊入侵房屋关系的研究 [J]. *寄生虫与医学昆虫学报*, 2007, 14(3):158-161.
- [51] Yasuoka J, Levins R. Impact of deforestation and agricultural development on anopheline ecology and malaria epidemiology [J]. *Am J Trop Med Hyg*, 2007, 76(3):450-460.
- [52] Park JW. Changing transmission pattern of *Plasmodium vivax* malaria in the Republic of Korea: Relationship with climate change [J]. *Environ Health Toxicol*, 2011, 26(e2011001):1-6.
- [53] Vittor AY, Gilman RH, Tielsch J, et al. The effect of deforestation on the human-biting rate of *Anopheles darlingi*, the primary vector of *Falciparum malaria* in the Peruvian Amazon [J]. *Am J Trop Med Hyg*, 2006, 74(1):3-11.
- [54] Walsh JF, Molyneux DH, Birley MH. Deforestation: effects on vector-borne disease [J]. *Parasitology*, 1993, 106 Suppl:S55-75.
- [55] Vittor AY, Pan W, Gilman RH, et al. Linking deforestation to malaria in the Amazon: characterization of the breeding habitat of the principal malaria vector, *Anopheles darlingi* [J]. *Am J Trop Med Hyg*, 2009, 81(1):5-12.
- [56] 刘美德, 王学忠, 赵彤言, 等. 云南省中华按蚊、杰普尔按蚊种群与环境因素关系的地理信息系统分析 [J]. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2008, 19(4):275-279.
- [57] 林晖. 小浪底工程对人群健康的影响及对策 [J]. *河海大学学报: 哲学社会科学版*, 2002, 4(2):84-86.
- [58] 李培龙, 张静, 杨维中. 大型水库建设影响人群健康的潜在危险因素分析 [J]. *疾病监测*, 2009, 5(2):137-140.
- [59] 石云, 张利平, 蒋玲, 等. 丹江口库区建库前后疟疾发病趋势分析 [J]. *医学与社会*, 2001, 14(2):1-3.
- [60] 蒋诗国, 肖邦忠, 吴成果, 等. 三峡大坝建成前影响疟疾流行的相关因素分析与监测结果 [J]. *热带病与寄生虫学*, 2007, 5(2):73-78.
- [61] 王奎, 勾能, 雷群建, 等. 三峡大坝建成前影响长寿区疟疾流行的相关因素分析与监测结果 [J]. *热带医学杂志*, 2009, 9(6):685-688.
- [62] 陈怀录, 曹仲华, 杨玉华. 长江三峡水利工程对疟疾流行影响的预测研究 [J]. *中国寄生虫学与寄生虫病杂志*, 1989, 7(3):177-180.
- [63] 张友德, 黄定华, 张学斌. 按蚊孳生环境变化对控制疟疾流行的作用 [J]. *寄生虫病与感染性疾病*, 2002, 10(4):169-170.
- [64] 刘群华, 曹昌志, 王名佩, 等. 成都市新都区石板滩镇实施灌溉农业战略控制疟疾流行报告 [J]. *中国热带医学*, 2003, 3(3):295-297.
- [65] The malERA Consultative Group on Vector Control. A research agenda for malaria eradication: vector control [J]. *PLoS Med*, 2011, 8(1):e1000401.
- [66] Mueller I, Galinski MR, Baird JK, et al. Key gaps in the knowledge of *Plasmodium vivax*, a neglected human malaria parasite [J]. *Lancet Infect Dis*, 2009, 9(9):555-566.
- [67] Liu XB, Liu QY, Guo YH, et al. The abundance and host-seeking behavior of culicine species (Diptera: Culicidae) and *Anopheles sinensis* in Yongcheng city, People's Republic of China [J]. *Parasit Vectors*, 2011, 4(1):221.
- [68] Sainz-Elipe S, Latorre JM, Escosa R, et al. Malaria resurgence risk in southern Europe: climate assessment in an historically endemic area of rice fields at the Mediterranean shore of Spain [J]. *Malar J*, 2010, 9:221.
- [69] Foley DH, Klein TA, Kim HC, et al. Malaria risk assessment for the Republic of Korea based on models of mosquito distribution [J]. *US Army Med Dep J*, 2008, April-June:46-53.
- [70] Takken W, Knols BG. Malaria vector control: current and future strategies [J]. *Trends Parasitol*, 2009, 25(3):101-104.
- [71] Moore CG. Interdisciplinary research in the ecology of vector-borne diseases: opportunities and needs [J]. *J Vector Ecol*, 2008, 33(2):218-224.
- [72] Greenwood BM. Control to elimination: implications for malaria research [J]. *Trends Parasitol*, 2008, 24(10):449-454.